

## AlCu4Ti Alaşımın Farklı Döküm Sıcaklıklarında Döküm Kalitesi ile Yaşlandırma Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

<sup>1</sup>Muhammed Raşit ERYILMAZ, <sup>1</sup>Muhammet ULUDAĞ, <sup>\*2</sup>Memduh KARA ve <sup>\*\*3</sup>Derya DIŞPINAR,  
<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye  
<sup>\*2</sup>Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İçil Meslek Yüksek Okulu, Elektrik. ve Enerji Böl., Konya, Türkiye  
<sup>\*\*3</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

### Özet

Üretim süreci ve yaşlandırma işleminin alüminyum döküm alaşımlarının mekanik özellikleri üzerinde büyük etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Ergitme sırasında yüzeyde oluşan oksit tabakası sıvı içerisine girerek dökümün kalitesini düşürmektedir. Hidrojen çözünürlüğü alüminyum alaşımlarının döküm kalitesinde etkili olan diğer bir faktördür. Döküm sıcaklığı ise oksit oluşumu ve hidrojen çözünürlüğü üzerinde oldukça etkilidir. Bu çalışmada, AlCu4Ti alaşımının 700 °C ve 775 °C sıcaklıklarında gaz gidermeli ve gaz gidermesiz dökümleri kum kalıplara yapılmıştır. Döküm kalitesini belirlemek amacıyla her ergiyikten RPT (Reduced Pressure Test) numuneleri alınmıştır. Elde edilen dökümlere T6 ısıtma işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak, döküm kalitesini belirlemek amacıyla elde edilen RPT numunelerinden bifilm indeksleri çıkarılmıştır. T6 ısıtma işleminden elde edilen verilerle bifilm indeksleri ilişkilendirilmiştir. Deneysel çalışmamızda kullandığımız alaşım için döküm sıcaklığı ile gaz giderme işleminin döküm kalitesine etkisi de incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Döküm, T6 ısıtma işlemi, Bifilm, Al-Cu alaşımları, Porozite

### Abstract

Solution heat treatment followed by aging is one of the most commonly used methods to improve mechanical properties of aluminum alloys. On the other hand, surface entrained defects, known as bifilms, deteriorate mechanical properties. These defects may become introduced into the cast part during melting and pouring step when the surface is disturbed and turbulence occurs. Therefore, in this work, the effect of bifilms during T6 heat treatment has been investigated. AlCu4Ti alloy was used and castings were made into sand moulds at two different pouring temperatures: 700°C and 775°C. The sample collection was carried out before and after degassing. Reduced Pressure Test (RPT) was used to measure bifilm content. The results were studied by comparing hardness vs bifilm index.

**Keywords:** Casting, T6 heat treatment, Bifilm, Al-Cu alloy, Porosity

## 1. Giriş

Alüminyum ilk çağlardan itibaren oldukça yoğun bir şekilde kullanılmakta olan bir mühendislik malzemesidir. Yirminci yüz yılın başlarında sadece çeşitli dekoratif ürünlerden ile eşyalarında kullanılan alüminyum, ikinci Dünya Savaşı sonrasında ise alüminyum döküm endüstrisinin gelişmesi ile havacılıktan, elektrikli eşya sektörüne; otomotiv sektöründen beyaz eşya sektörüne kadar çok geniş bir kullanım alanı bulmaya başlamıştır [1].

Bakır esaslı alüminyum alaşımlarının teknolojik olarak tercih edilen metal grubudur. Bakır elementinin bulunduğu bu alüminyum alaşım grubu, yaşlandırma işlemi boyunca kararlı ve

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering Selçuk University, 42075, Konya TURKEY. E-mail address: rasit.eryilmaz@gmail.com, Phone: +905056136978

kararsız fazlarının durumundan dolayı mekanik özelliklerinde oldukça iyileştirme gösterirler [2]. Al-Cu alaşımlarında mekanik özellikleri iyileştirmek için çökelme sertleşmesi uygulanması uzun bir zamandır kullanılmakta ve T6 ısıl işlemi genellikle tercih edilmektedir. Bu mekanizma üzerine kimyasal bileşim, ısıl koşullar ve üretim yöntemi gibi faktörlerin etkili olduğu bilinmektedir. Çökelme sertleşmesi; çözeltiye alma, su verme, yaşlandırma olmak üzere 3 ana basamaktan oluşmaktadır [3]. Çözeltiye alma sırasında yapı, ergime sıcaklığının altında bir sıcaklığa ısıtılarak katılaşma sırasında yapıda oluşan katı fazların çözdürülmesi sağlanır. Daha sonra su verme işlemi ve ardından uygulanan daha düşük sıcaklıkta yaşlandırma işlemi ile yapı içindeki kararlı fazların oluşması sağlanır [4]. Bu oluşan kararlı yapılar malzeme içinde hareket mekanizmasını kısıtlayarak malzemede mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlar [5].

Alüminyum alaşımlarının kalitesinin belirlenmesinde porozite miktarı, sıvı içerisindeki hidrojen seviyesi, sıcaklık ve türbülans gibi faktörlerin etkili olduğu bilinmektedir. Döküm esnasında oluşan oksit tabakaları seramik yapılı ara yüzeyler oluştururlar. Oluşan bu yapılar bifilm yapısı olarak adlandırılır. Bu ara yüzeyler porozite oluşumu üzerine etkilidir. Bu poroziteler döküm parçasında mekanik özellikler üzerine etkilidir. Azaltılmış basınç testi (Reduced Pressure Test), yaygın olarak bifilmelerin tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde vakum altında katılaşma esasına dayanmaktadır. Elde edilen numunelerden bifilm indeksi çıkarılmaktadır. Bu İndeks ile döküm kalitesi belirlenmektedir [6, 7].

Bu çalışmada, farklı döküm sıcaklıklarında denemeler yapılmış ve iki farklı sıcaklıkta AlCu4Ti alaşımında döküm kalitesi üzerine etkili olan bifilmlemler ile yaşlandırma arasındaki ilişki araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada kullanılan ETİAL 221 alaşımı birincil olarak ETİ ALÜMİNYUM A.Ş' den temin edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımın kimyasal bileşim aralığı Tablo 1'de verilmiştir.

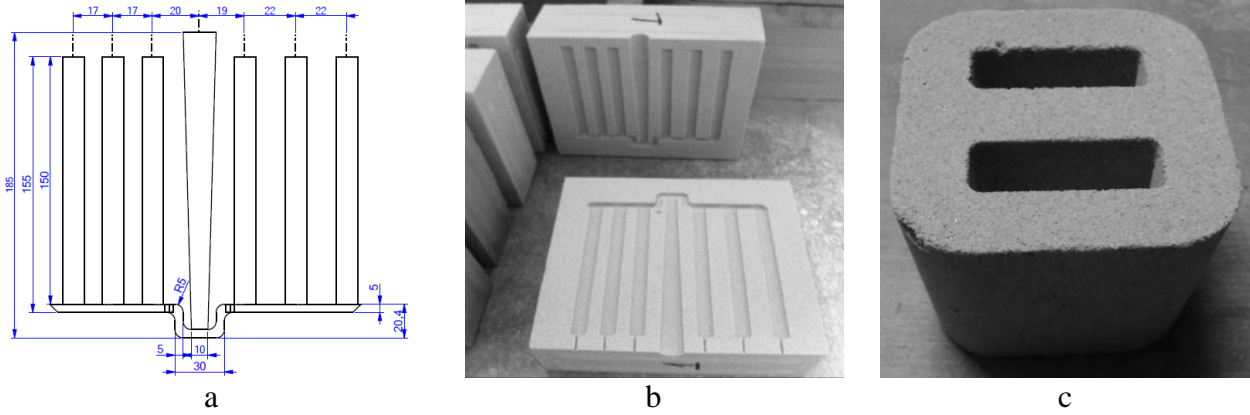
**Tablo 1.** Kullanılan ETİAL 221 alaşımının kimyasal bileşim aralığı

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Pb	Al
0,30	0,30	4,00-5,00	0,10	0,05	0,10	0,15-0,30	0,10	0,05	Kalan

Ergitme işleminde yaklaşık 4 kW gücünde ve 20 kg alüminyum ergitme kapasitesine sahip elektrikli rezistans fırını kullanılmıştır. Ayrıca fırın içerisindeki potada metali ergittikten sonra gaz giderme işlemini yapacağımız Ar tüpüne bağlı grafit lans kullanılmıştır. Kum kalıp modelinden kuru kalıplama yöntemi ile kalıp hazırlanıp, kuru kalıplama için CO<sub>2</sub> gazı ile sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Sertleştirme işleminden önce 40-45 AFS tane boyutlarına sahip

silis kumları % 2 oranında reçine ile kum karıştırma mikserinde homojen bir şekilde karıştırılarak kalıp kumu elde edilmiş ve bu hazırlanan kalıp kumundan RPT( Reduced Pressure Test) ve çekme testi numunesi kalıpları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kalıplar Şekil 1’de gösterilmiştir.

Dökümler, 700°C ve 775°C’ olmak üzere iki farklı sıcaklık, gaz gidermeli ve gaz gidermesiz olarak da iki farklı şartta gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmamızda toplam dört farklı parametre kullanılmıştır.



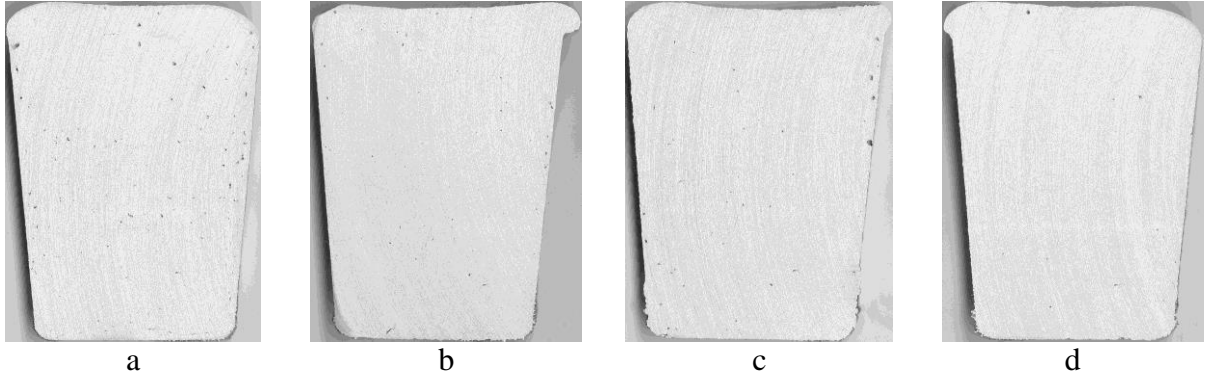
Şekil 1. Deneyde kullanılan kalıplar. a) Çekme test kalıp ölçüleri, b) Çekme test kum kalıbı, d) RPT kalıbı

Döküm kalitesini belirlemek amacıyla elde edilen RPT numuneleri önce ortadan ikiye kesilmiş ve makro inceleme için numune hazırlama aşamalarında geçirilmiştir. Elde edilen yüzeyden makro görüntü alınarak CLEMEX marka görüntü analiz programı yardımı ile bilfilm indexleri hesaplanmıştır.

Yaşlandırma işlemi için çekme çubuğu numunelerinden 15 mm yüksekliğinde mikroyapı ve sertlik numuneleri elde edilmiştir. T6 ısıl işlemi esas alınarak 537°C altında 30 dakika boyunca çözeltiye alma işlemi, oda sıcaklığındaki suda su verme işlemi, ardından ise 195°C’de 12 saat boyunca yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemlerinden sonra BULUT marka sertlik ölçüm cihazı ile sertlik değerleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda mikro yapı numuneleri gerekli mikroyapı numune hazırlama aşamalarından (zımpara, parlatma, dağlama) geçirilerek incelemeye hazır hale getirilmiştir. Bu numunelerin mikroyapı analizleri de NİKON marka optik mikroskop ve CLEMEX marka görüntü analiz programı yardımı ile yapılmıştır.

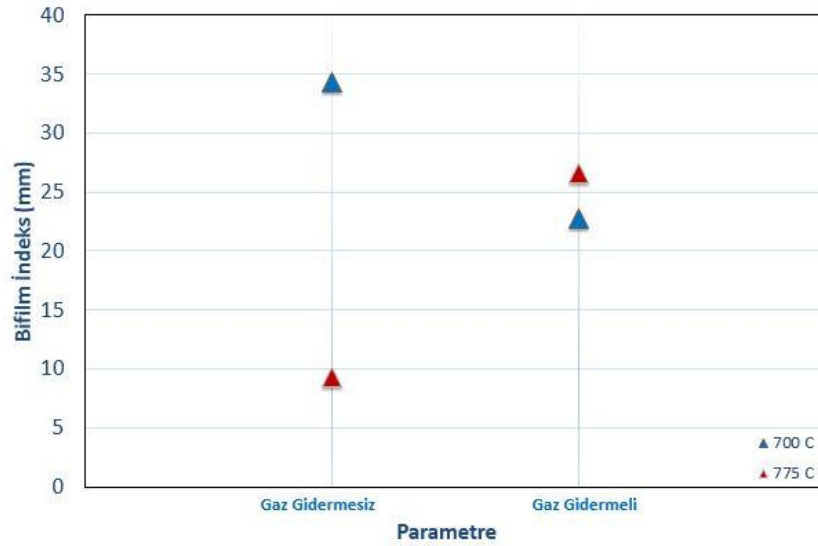
### 3. Sonuçlar

Azaltılmış basınç testinden elde edilen numunelerin makro görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



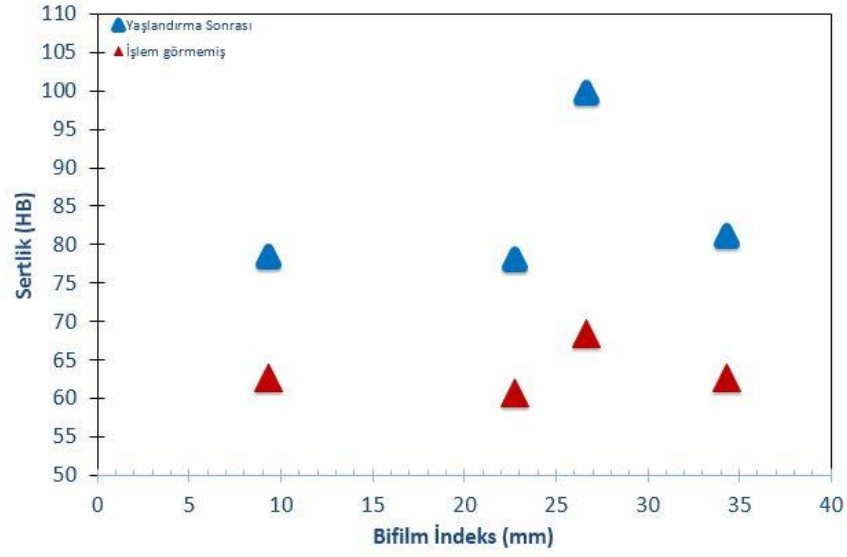
**Şekil 2.** Gaz gidermeli ve gaz gidermesiz dökümlerin vakum altında katılaşma numune resimleri.  
a) 700°C'de gaz gidermesiz b) 700°C'de gaz gidermeli c) 775°C'de gaz gidermesiz d) 775°C'de gaz gidermeli

Şekil 3'de deneysel parametreler ile hesaplanan bifilm indeks değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



**Şekil 3.** Deneysel parametreleri ile bifilm indekslerinin karşılaştırılması

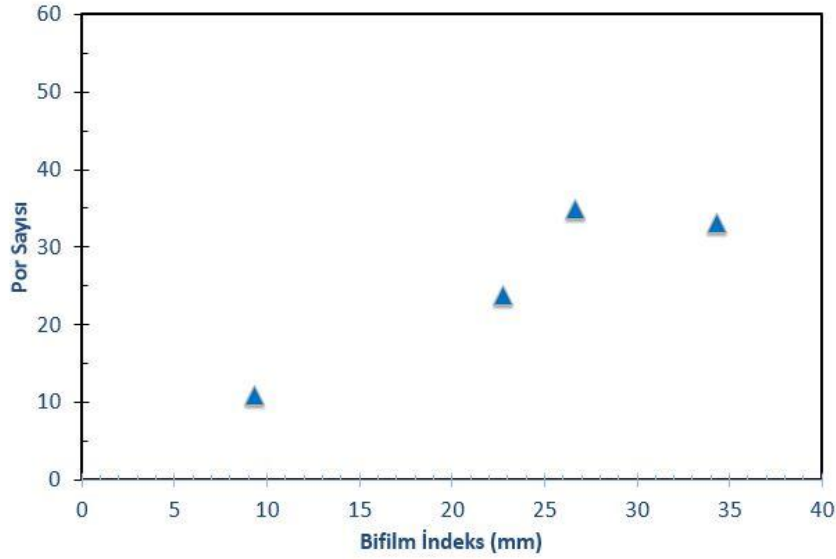
Yaşlandırma öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin bifilm indeksi ile değişimi Şekil 4'da, Yaşlandırma öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin por sayısı ile değişimi Şekil 5'de ve AlCu4Ti alaşımı için bifilm indeksi ile por sayısı arasındaki ilişki Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 4. Yaşlandırma öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin bifilm indeksi ile değişimi



Şekil 5. Yaşlandırma öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin por sayısı ile değişimi



Şekil 6. AlCu4Ti alaşımı için bifilm indeksi ile por sayısı arasındaki ilişki

#### 4. Tartışma

Alüminyum alaşımlarında mukavemet artırma yöntemlerinden birisi de T6 olarak adlandırılan ve çözeltiye almayı takip eden su verme ve sonrasında suni olarak yaşlandırma yapılan bir prosestir. Bu proseste amaç, alaşımın bileşimine göre, faz diyagramından yararlanarak tek faz bölgesinde ve ötektik sıcaklığının altında bir bölge çıkararak, ikinci fazların tamamen çözeltiye geçmesini sağlamaktır. Daha sonra, ani soğutma ile (su verme) yapı içerisinde boşluk konsantrasyonu artırılması sağlanır. Bu durumda, ikinci fazlar, Gibbs enerjisi yüksek olan bu boşluklarda çökerek sistemin enerjisini düşürür. Döküm sonrası segregasyon dolayısıyla tane sınırlarında yoğunlaşmış olan ikinci fazlar, yapı içerisinde homojen ve ince olarak dağılırlar. Böylelikle mukavemette ciddi oranlarda artış sağlanır.

Bu çalışmada, geleneksel olarak kullanılan sertlik yöntemi yardımıyla ölçülen mukavemet artışının yanı sıra, sonuçlar, metal kalitesi ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla ile olarak, döküm öncesinde, ergitme sonrasında gaz giderme öncesi ve sonrasında RPT numuneleri alınmıştır. Bu numunelerden yapılan bifilm indeks değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Görüldüğü gibi, 700°C'de yapılan dökümlerde gaz giderme öncesi bifilm indeks 34 mm iken gaz giderme sonrasında 22 mm'e düşmüştür. 775°C'de ise, 10 mm'den 27 mm'ye yükselmiştir. Fakat tüm RPT numunelerinde kesit alanındaki por sayıları yaklaşık olarak 30 civarındadır. Dolayısıyla bifilm sayıları her döküm için birbirine çok yakın çıkmıştır. Bifilm indekslerinin ve bifilm sayılarının birbirine bu denli yakın çıkması demek, tüm dökümlerin kalitesinin de birbirine yakın olması demektir. Dispinar birçok alüminyum alaşımı ile yaptığı çalışmalar sonrasında bifilm indekslerinden bir skala ortaya çıkartmıştır ve şu şekilde bir öneride bulunmuştur:

- 0-10 mm arası en iyi kalite
- 10-50 mm arası iyi kalite
- 50-100 mm arası orta
- 100-200 mm arası kötü
- 200 ve üzeri çok kötü

Bu doğrultuda, bu çalışmada elde edilen bifilm indeks değerleri her ne kadar 10 mm ile 34 mm arası değişiyor gibi olsa da, sonuçta döküm kaliteleri arasında ciddi bir fark olmadığı ele alınabilir. Bu çalışmada tedarik edilen alaşımlar primer üretimden elde edildiği için bifilm indeks seviyelerinin bu denli düşük çıkması (yani yüksek ve iyi kaliteli olmaları) beklenen bir sonuçtur.

Bu sonuçlar, elde edilen sertlik ölçüm değerleri ile de örtüşmektedir. Şekil 4 ile 6 arasındaki sonuçlar irdelenecek olursa, bifilm indeks, porozite vb tüm parametrelere göre sertlik değerlerinde değişim gözükmemektedir.

Farklı sıcaklıklarda yapılan dökümler ile sertlik değerleri kıyaslanacak olursa, 700°C ile 775°C yapılan dökümler sonrasında elde edilen numunelerin T6 ısıl işlemi sonrasında sertlik değerlerinde bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Teorik olarak, 775°C'de yapılacak dökümlerde, artan sıvı sıcaklığı ile çözünen hidrojen miktarının artması gerekmektedir. Dolayısıyla yapıda daha fazla porozite ve kötü mekanik özellikler beklentisi ortaya çıkmaktadır. Ancak Dispinar daha önceki çalışmalarında gösterdiği gibi, alüminyum alaşımlarının dökümünde hidrojen seviyesi ile mekanik özellikler arasında bir ilişki olmadığını kanıtlamıştır. Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dispinar, çekme mukavemeti üzerine yaptığı araştırmalarda hidrojen çözünürlüğü yerine bifilm indeks ile kopma uzaması ve tokluk arasında bir ilişki bulmuştur. Benzer şekilde, bu çalışmada da eş bifilm indeks değerine sahip dökümlerde, aynı değerlerde sertlik sonuçları elde edilmiştir.

Bu çalışmanın bir sonraki adımı olan, daha yüksek bifilm indeksli bir sıvı hazırlanması (örneğin primer alaşım yerine, hurdadan dökümler yapılarak bifilm indeksi 100 mm üzerinde bir alaşım ile çalışılması) ve bu dökümler ile burada sunulan değerlerin kıyaslandırılması olacaktır.

## **Sonuçlar**

Al4CuTi alaşımında döküm sıcaklığı ile T6 ısıl işlemi sonrası elde edilen sertlik değerleri arasında bir ilişki yoktur. 700°C ile 775°C'de üretilmiş parçaların mekanik özellikleri aynı olduğu tespit edilmiştir.

Döküm kalitesi ölçümü olan bifilm indeks ile sertlik arasında lineere yakın bir ilişki elde edilmiştir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında desteklenmiştir. Çalışmamızda kullanılan alaşımın temini aşamasında kolaylıkları için ETİ ALÜMİNYUM A.Ş. firmasına teşekkür ederiz.

## Referanslar

- [1] Zolotarevsky, V.S., N.A. Belov, and M.V. Glazoff, *Chapter one - Alloying Elements and Dopants: Phase Diagrams*, in *Casting Aluminum Alloys*, V.S. Zolotarevsky, N.A. Belov, and M.V. Glazoff, Editors. 2007, Elsevier: Amsterdam. p. 1-93.
- [2] Kovarik, L., et al., *GPB zones and composite GPB/GPBII zones in Al-Cu-Mg alloys*. *Acta Materialia*, 2008. **56**(17): p. 4804-4815.
- [3] Callister, W.D. and D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction, 9th Edition: Ninth Edition*. 2013.
- [4] Jang, J.-H., et al., *Effect of solution treatment and artificial aging on microstructure and mechanical properties of Al-Cu alloy*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2013. **23**(3): p. 631-635.
- [5] Totten, G.E. and D.S. MacKenzie, *Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy Production and Materials Manufacturing*. 2003: Taylor & Francis.
- [6] Dispinar, D. and J. Campbell, *Effect of casting conditions on aluminium metal quality*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007. **182**(1-3): p. 405-410.
- [7] Dispinar, D. and J. Campbell, *Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings*. *Materials Science and Engineering: A*, 2011. **528**(10-11): p. 3860-3865.